

## LOS CULTIVOS INVERNALES EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ENTRE RÍOS



### Coll L.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)  
Estación Experimental Agropecuaria Paraná  
Departamento de Producción

Los cultivos invernales son un elemento clave en la eficiencia y sustentabilidad de los sistemas agropecuarios entrerrianos. Entre los aspectos favorables se pueden mencionar la mejora en el uso de recursos (agua y radiación), el aporte de carbono y la mejora en la actividad microbiana del suelo, la competencia con malezas, la diversificación de las secuencias de cultivos con la consiguiente reducción del riesgo y el aporte de ingresos financieros a fin de año.

Sin embargo, la baja rentabilidad en determinados años o la ocurrencia de enfermedades, han provocado que el área sembrada sea relativamente baja. Por otro lado, el cambio climático no sólo plantea interrogantes acerca de la evolución de los ecosistemas a nivel global, sino que nos interpela acerca del futuro de nuestros sistemas agropecuarios.

El trigo (*Triticum aestivum* L.) como principal cultivo invernal de Argentina es fundamental para la sustentabilidad de los suelos (Serri et al., 2018), no obstante, la susceptibilidad de los genotipos de alto rendimiento a algunas enfermedades o episodios de estrés térmico pueden afectar eventualmente los rendimientos. Incluso, la proyección del aumento de las temperaturas y de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos de lluvias o temperaturas genera nuevos interrogantes acerca de la productividad de los cultivos. Otros cultivos invernales como cebada (*Hordeum vulgare* L.), colza (*Brassica napus* L.) o arveja (*Pisum sativum* L.) que podrían ser más tolerantes, han empezado a evaluarse recientemente, aunque el desconocimiento del manejo agronómico y su comercialización producen desconfianza en los productores, sobre todo en aquellos más renuentes a la toma de riesgos.

En este contexto surge la necesidad de comparar la productividad de distintas especies de cultivos invernales, así como también la relación entre el clima, la ocurrencia de las etapas críticas y sus efectos sobre los rendimientos.

## ¿En qué consistió el trabajo?

Los experimentos se realizaron en la EEA Paraná (Entre Ríos, 31,5° S; 60,3° O; 110 m.s.n.m.), sobre un Argiudol acuíco (Serie Tezanos Pinto), durante los años 2014 y 2018. Los cultivos de trigo, arveja y colza fueron los tratamientos que se repitieron los dos años, pero en 2014 además se evaluaron cultivos de cebada y mostaza (*Sinapis alba* L.). Se utilizó un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los cultivares de trigo empleados fueron Buck SY200 (2014) y Klein Titania CL (2018), de colza Hyola 571 CL (2014) y Solar CL (2018), de arveja Viper, de cebada Quilmes Carisma y de mostaza, Delfina INTA. Las parcelas se fertilizaron con 300 kg ha<sup>-1</sup> de urea y 150 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico y cuando fue necesario se controlaron malezas y plagas.

Para determinar los momentos claves en el desarrollo de los cultivos, se observó semanalmente el estado fenológico. Para trigo y cebada se utilizó la escala de Zadoks (Zadoks et al., 1974) y para colza, mostaza y arveja se utilizaron las escalas decimales de la BBCH (Lancashire et al., 1991). Periódicamente se midió el porcentaje de intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA) con la utilización de un sensor lineal cuántico. En madurez, se cosecharon los cultivos para determinar rendimiento en grano. La eficiencia en el uso de la radiación (EUR) se estimó como el cociente entre el rendimiento en granos y la cantidad total de RFA interceptada. Ésta, se calculó como el producto de la radiación fotosintéticamente activa diaria (obtenida del Observatorio Agrometeorológico de la EEA Paraná) y el porcentaje de intercepción diario.

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza y pruebas de comparaciones de medias utilizando la prueba LSD al 5 %. Las asociaciones entre variables se analizaron mediante análisis de regresión lineal y correlación.

Paralelamente se analizó la evolución de las temperaturas medias mensuales de la serie histórica 1934-2222 del Observatorio Agrometeorológico de la EEA Paraná del INTA. Se realizaron regresiones lineales entre los años y la temperatura media mensual relativa al promedio de la serie histórica para cada mes del año ( $\alpha=0,05$ ).

## ¿Qué pasó con el clima y el desarrollo de los cultivos durante los experimentos?

En 2014, analizando la temperatura y las lluvias (Fig. 1) se verifica que el ciclo de todos los cultivos invernales evaluados estuvo sometido a temperaturas medias mensuales mayores a los promedios históricos. Sin embargo, es probable que el cultivo de trigo haya sido particularmente afectado por un período con altas temperaturas a fines de octubre (8 días con temperaturas máximas mayores a 30 °C) que provocó la finalización anticipada del llenado de granos debido al estrés térmico (Tabla 1). Además, la falta de lluvias durante agosto puede haber incidido especialmente en el cultivo de colza durante su período crítico (floración).

Por otro lado, en 2018 las temperaturas durante la estación de crecimiento de los cultivos fueron más parecidas a las normales con la excepción del mes de septiembre que fue 3 °C más cálido. Esto último pudo haber afectado especialmente la duración de la etapa crítica para la definición del rendimiento de arveja y colza. En cambio, el exceso de lluvias ocurrido en noviembre (máximo histórico de 346 mm) pudo haber reducido la calidad, pero no el rendimiento de los cultivos ya que todos habían alcanzado la madurez fisiológica con anterioridad y fueron cosechados oportunamente. De hecho, el rendimiento de los cultivos invernales a nivel provincial fue muy bueno ese año (BOLSACER, 2018).

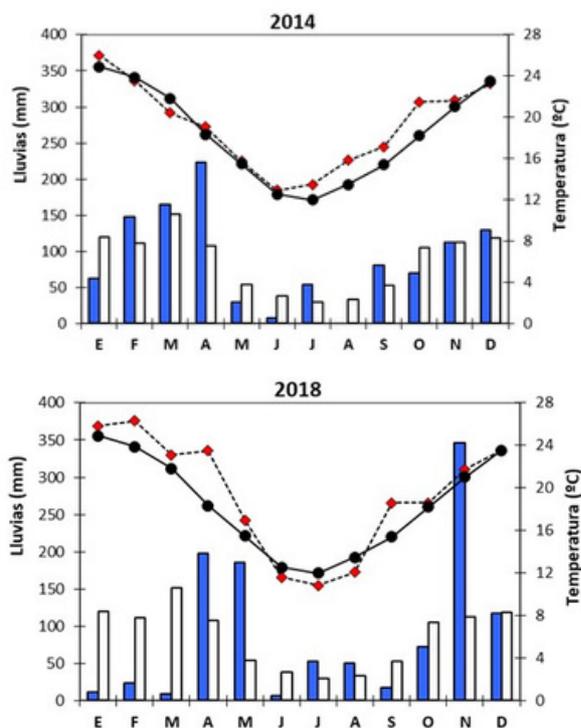


Fig. 1. Lluvias mensuales y temperatura media mensual en los años 2014 y 2018. Lluvias mensuales (barras azules), lluvias promedio de la serie histórica 1934-2018 (barras blancas), temperaturas medias mensuales (línea con puntos rojos), temperaturas medias promedio de la serie histórica 1934-2018 (línea con puntos negros). Fuente: Observatorio Agrometeorológico EEA Paraná.

Tabla 1. Fenología de cultivos invernales en los años 2014 y 2018 en la EEA Paraná del INTA.

	Año	Trigo	Arveja	Colza	Cebada	Mostaza
<b>Siembra</b>	2014	16 junio	16 junio	27 mayo	16 junio	16 junio
	2018	28 mayo	28 mayo	28 mayo		
<b>Emergencia</b>	2014	30 junio	28 junio	3 junio	27 junio	25 junio
	2018	9 junio	9 junio	9 junio		
<b>Encañazón / aparición del órgano floral</b>	2014	26 agosto	26 agosto	20 julio	22 agosto	15 agosto
	2018	1 sept.	28 agosto	21 agosto		
<b>Inicio de la floración</b>	2014	2 octubre	8 sept.	8 agosto	28 sept.	28 agosto
	2018	1 octubre	1 sept.	7 sept.		
<b>Madurez fisiológica</b>	2014	27 octubre	16 octubre	26 sept.	18 octubre	28 octubre
	2018	7 noviembre	10 octubre	27 octubre		

### El uso de la radiación de los cultivos invernales

La captación de radiación de un cultivo y la eficiencia con que se transforma la radiación captada en granos o semillas son factores que determinan el rendimiento alcanzado por un cultivo.

En los dos años evaluados la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAI) por el cultivo de trigo fue superior a la de colza y ésta, a su vez fue mayor que la de arveja ( $p < 0,0001$ ; Tabla 2).

Si bien, probablemente debido a su ciclo más corto, la arveja logró captar menos radiación, presentó mayor eficiencia de uso de la radiación para producir granos (EUR), aunque en el año 2018 esa diferencia no alcanzó significancia estadística.

Lo contrario sucedió con la mostaza en 2014, que fue el cultivo de mayor intercepción de radiación ( $p < 0,0001$ ), pero debido a su reducida partición tuvo la menor EUR ( $p = 0,0004$ ). Además, la cebada debido a su ciclo más corto logró captar menos radiación que el trigo.

Mientras que en 2018 el rendimiento de los cultivos de trigo, colza y arveja sólo estuvo correlacionado positivamente con la cantidad de RFAI ( $r = 0,67$ ;  $p = 0,02$ ), en 2014 el rendimiento no se asoció a la RFAI sino con EUR ( $r = 0,97$ ;  $p < 0,0001$ ). Es probable que en 2014 el estrés hídrico en el caso de colza y el estrés térmico en el caso de trigo y mostaza hayan afectado negativamente la generación y la partición de fotoasimilados reduciendo directamente la eficiencia de uso de la radiación para formar granos. En cambio, la ausencia de estreses que redujeran la partición en 2018 generó que el rendimiento de los cultivos estuviese más asociado a la captación de radiación durante el ciclo (RFAI).

Tabla 2. Radiación fotosintéticamente activa interceptada durante el ciclo de cultivos invernales (RFAI) y eficiencia de uso de radiación para producir granos (EUR) en los años 2014 y 2018 en la EEA Paraná del INTA.

	Año	Trigo	Arveja	Colza	Cebada	Mostaza
<b>RFAI (MJ m<sup>-2</sup>)</b>	2014	647	522	558	614	700
	2018	845	551	726	~	~
<b>EUR (g MJ<sup>-1</sup>)</b>	2014	0,60	0,75	0,52	0,61	0,13
	2018	0,51	0,60	0,53	~	~

### El rendimiento de los cultivos invernales

En 2014 no hubo diferencias entre los rendimientos de trigo, cebada y arveja, aunque fueron mayores a los de colza y mostaza ( $p < 0,0014$ ; Fig. 2a), y el rendimiento de colza fue significativamente superior al de mostaza. Por otro lado, en 2018 el rendimiento de trigo superó a los de arveja y colza que no difirieron entre sí ( $p < 0,009$ ; Fig. 2b).

La variación entre años en el comportamiento relativo del trigo y la arveja podría ser explicada por el efecto negativo de las altas temperaturas en el final del llenado de granos del trigo en 2014 mencionado anteriormente. Slafer et al. (2003) comentan que, si bien el aumento de la temperatura incrementa la tasa de llenado de los granos de trigo, reduce en una proporción mayor la duración de este. Por otro lado, los bajos rendimientos de colza en relación con el obtenido con cereales como trigo o cebada son resultados coincidentes con los reportados previamente para distintos ambientes (Rondanini et al., 2012).

De todas formas, es importante aclarar que cuando se comparan los rendimientos de especies con granos de composición diferente, es lógico que aquellas más ricas en almidón estén en ventaja debido a los menores costos de síntesis (almidón < proteína < aceite).

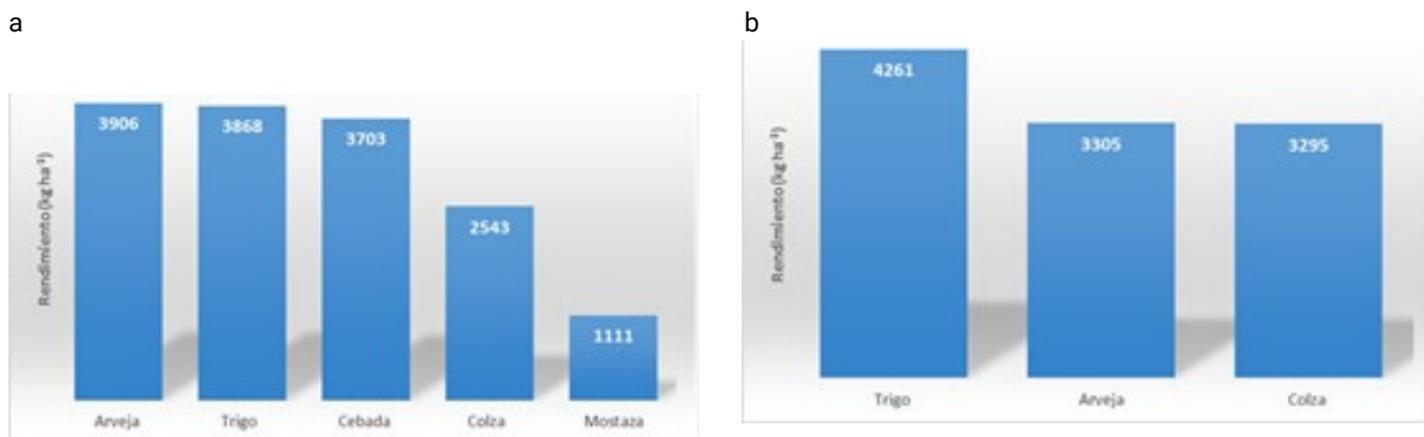


Fig. 2. Rendimiento de cultivos invernales durante los años 2014 (a) y 2018 (b) en la EEA Paraná del INTA.

### La evolución del clima y su influencia en los cultivos invernales

Cuando se observa la evolución en los últimos 89 años de las temperaturas medias anuales y las lluvias acumuladas durante el año en el Observatorio Agrometeorológico de la EEA Paraná, se puede ver un aumento significativo de ambas variables, aunque en el caso de la lluvia, la variabilidad es mayor (Fig. 3).

Esto ya había sido reportado previamente para el periodo 1934/2004 por Saluso (2007). No obstante, desde el punto de vista de un cultivo anual que sólo está presente durante una parte del año, resulta interesante ver qué sucede con el clima en cada mes del año en particular.

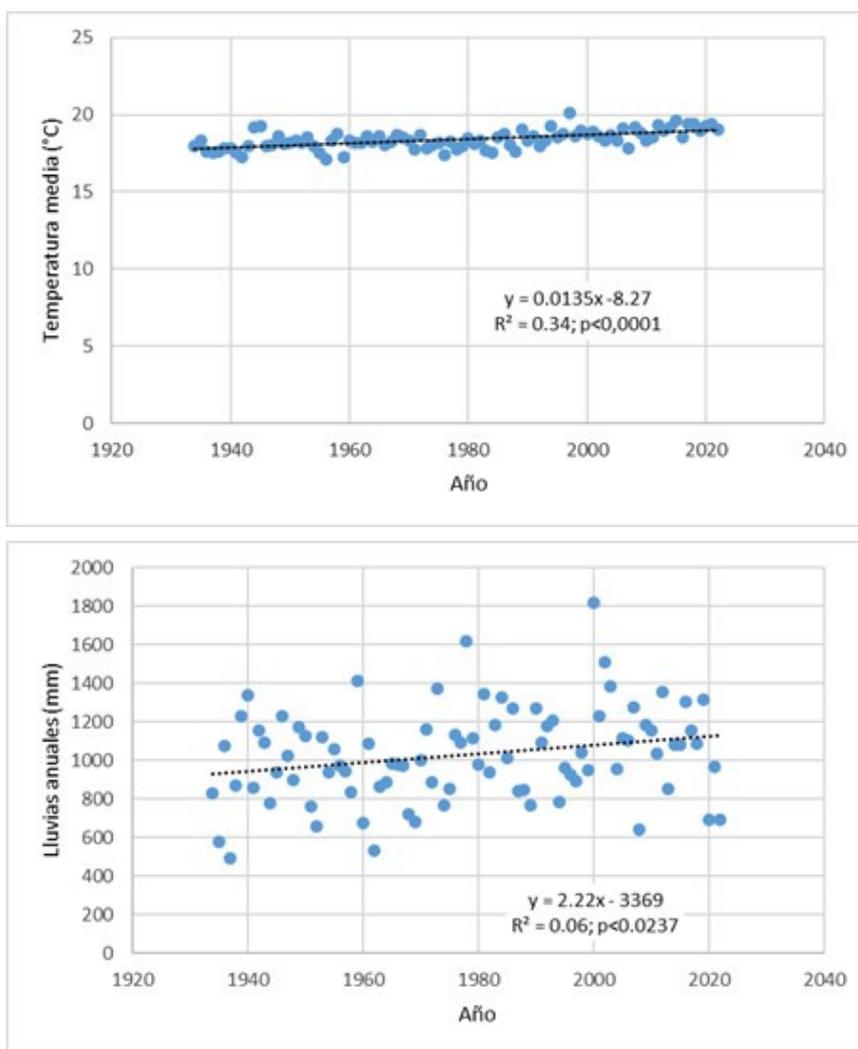


Fig. 3. Evolución de las temperaturas medias y lluvias anuales en la serie histórica 1934-2022 de la EEA Paraná del INTA. Fuente: Observatorio Agrometeorológico EEA Paraná.

Al analizar la evolución de las temperaturas medias mensuales relativas al promedio desde el año 1934 en la EEA Paraná se observa una tendencia al aumento en los meses de enero, marzo y abril (Fig. 4). Por el contrario, en los meses de febrero, mayo, junio y julio no se verifica una tendencia significativa al incremento de las temperaturas, aunque si una mayor variabilidad entre años. Luego a partir de agosto nuevamente se observa la tendencia creciente en las temperaturas medias hasta diciembre.

Al analizar la evolución de las temperaturas medias mensuales relativas al promedio desde el año 1934 en la EEA Paraná se observa una tendencia al aumento en los meses de enero, marzo y abril (Fig. 4). Por el contrario, en los meses de febrero, mayo, junio y julio no se verifica una tendencia significativa al incremento de las temperaturas, aunque si una mayor variabilidad entre años. Luego a partir de agosto nuevamente se observa la tendencia creciente en las temperaturas medias hasta diciembre.

Resulta interesante destacar que los meses de mayor aumento de la temperatura media son abril y octubre (1 % cada 7 años), indicando una reducción potencial en la duración de la estación de crecimiento de los cultivos invernales en Entre Ríos. Incluso, el incremento de temperatura en agosto, septiembre, octubre y noviembre implicaría un aumento en la velocidad de desarrollo, o lo que es lo mismo, una reducción en la duración de ciclo y sobre todo de la etapa reproductiva de los cultivos invernales que transcurre durante esta época. Además, el aumento de las temperaturas medias podría estar relacionado con el incremento de las temperaturas mínimas (Saluso, 2007) y una mayor probabilidad de eventos de estrés térmico en cultivos adaptados a climas templados.

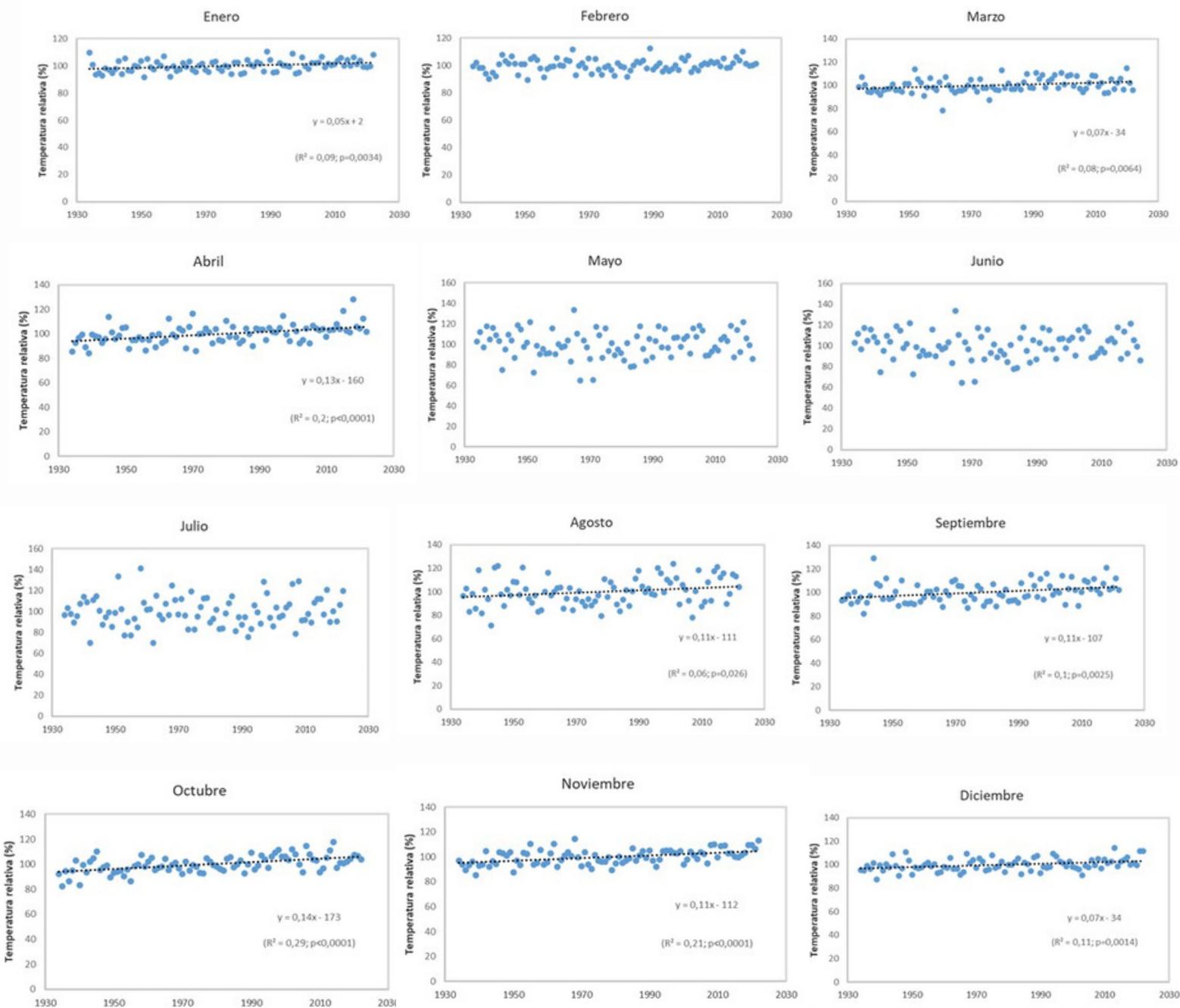


Fig. 4. Evolución de la temperatura media mensual relativa al promedio de la serie histórica 1934-2022 de la EEA Paraná del INTA. Fuente: Observatorio Agrometeorológico EEA Paraná. Sólo se muestran las regresiones significativas ( $\alpha=0,05$ ).

Tal como se pudo constatar en los experimentos de 2014 y 2018 comparando cultivos invernales, una menor duración del ciclo de un cultivo producto del aumento de las temperaturas se relaciona generalmente con una menor captación de radiación y una reducción del crecimiento acumulado, mientras que el estrés térmico, además de afectar al crecimiento puede reducir la partición de asimilados a los granos y, en consecuencia, producir menores rendimientos. Temperaturas a partir de 27-30 °C han sido reportadas como potencialmente generadoras de estrés para trigo (Stone y Nicolas, 1994), colza (Morrison y Stewart, 2002), arveja (Bueckert et al., 2015) y cebada (Savin y Nicolas, 1996) afectando el rendimiento y la calidad.

Según Minchiotti et al. (2010), al analizar la serie climática 1934-2008 del Observatorio Agrometeorológico de la EEA Paraná, periodos de cuatro días con al menos tres temperaturas máximas superiores a los 28 °C ocurren uno cada cuatro años en septiembre y uno cada dos años en octubre. El mayor calentamiento relativo del mes de octubre pareciera ser potencialmente más perjudicial para el cultivo de trigo que para colza o arveja, ya que éstas últimas presentan una madurez anticipada. Sin embargo, Minchiotti et al. (2010) encontraron una mayor susceptibilidad de colza con respecto a trigo y cebada frente a eventos de estrés térmico producidos artificialmente en nuestra región.

## Consideraciones finales

A partir de la información analizada surge con claridad la importancia de las variables climáticas y los estreses asociados, en los rendimientos relativos de distintos cultivos invernales. Esto, sumado al incremento de las temperaturas durante el periodo reproductivo, genera inquietud acerca de la amenaza que puede representar el cambio climático para los rendimientos de los cultivos invernales y su variabilidad entre años. Además, refuerza la importancia de continuar este tipo de análisis mediante modelos de simulación de cultivos, tanto utilizando los datos históricos de clima como para escenarios hipotéticos que contemplen distintas magnitudes y momentos en el cambio de las temperaturas. Esto permitirá optimizar el ajuste de la combinación de ciclos y fechas de siembra. También, resulta evidente la importancia de continuar con la búsqueda tanto de genotipos adaptados a las mayores temperaturas, como de nuevas fuentes de tolerancia al estrés térmico en las principales especies.

## Referencias

- BOLSACER. 2018. Informe producción de trigo en Entre Ríos - campaña 2018/19. <http://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/siberd.php?id=1066>
- BUECKERT R.A., S. WAGENHOFFER HNATOWICH G. and T.D. WARKENTIN 2015. Effect of heat and precipitation on pea yield and reproductive performance in the field. *Can. J. Plant Sci.* 95:629-639.
- LANCASHIRE P.D., BLEIHOLDER H., BOOM T.V.D., LANGELÜDDEKE P., STAUSS R., WEBER E. and A. WITZENBERGER 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology* 119:561-601.
- MINCHIOTTI D.R., COLL L. y O.P. CAVIGLIA 2010. Estrés por altas temperaturas en trigo, cebada y colza. Resúmenes XVIII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. La Plata 26 al 29 de septiembre de 2010. p. 255.
- MORRISON M.J. and D.W. STEWART 2002. Heat Stress during Flowering in Summer Brassica. *Crop Sci.* 42:797-803.
- RONDANINI D.P., GOMEZ N.V., AGOSTI M.B. and D.J. MIRALLES 2012. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *European journal of agronomy*, 37(1), 56-65.
- SALUSO J.H. 2007. Comportamiento térmico, pluviométrico y energía erosiva de las lluvias en la EEA Paraná INTA (1934-2004). En *Agricultura Sustentable en Entre Ríos*. INTA. pp 59-65. ISBN 978-987-521-253-4.
- SAVIN R. and ME NICOLAS 1996. Effects of short periods of drought and high temperature on grain growth and starch accumulation of two malting barley cultivars. *Australian Journal of Plant Physiology* 23, 201-210.
- SERRI D.L., MEIRELES J., CONFORTO C., PÉREZ BRANDAN C., PASTOR S., GRÜMBERG B., LUNA C., LORENZON C., ARCE J., MARELLI H. and S. VARGAS GIL 2018. Incorporación de trigo en la rotación agrícola: Una herramienta para potenciar el funcionamiento del agroecosistema. *Ciencia del suelo*, 36(1), 74-87.
- SLAFER G.A., MIRALLES D.J., SAVIN R., WHITECHURCH E.M. and F.G. GONZÁLEZ 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Facultad de Agronomía Buenos Aires (ed), Argentina, 118-129.
- STONE PJ and M.E. NICOLAS 1994. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post anthesis heat stress. *Australian Journal of Plant Physiology* 21, 887-900.
- ZADOKS J.C., CHANG T.T. and C.F. KONZAK 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-4

**Para más información:**  
[coll.leonardo@inta.gob.ar](mailto:coll.leonardo@inta.gob.ar)